苹果园不同覆盖材料对环境及树体生长发育的影响

尹晓宁，刘兴禄，董铁，牛军强，孙文泰，马明

(甘肃省农业科学院林果花卉研究所，甘肃 兰州 730070)

摘　要　干旱是影响陇东雨养区苹果生产的主要限制因素之一，覆盖保墒是保证该区苹果稳产丰产的重要措施。为了探寻适宜于陇东地区苹果园的保墒措施，本文于 19 年生'长富 2 号'苹果园，采用覆盖麦草(WM)、覆盖细河沙(SM)、覆盖黑色地膜(FM)的地表连续 3 年(2010 年 11 月—2013 年 11 月)分别同一覆盖处理，以清耕(CK)为对照，研究不同覆盖材料对果园环境及树体生长发育的影响。结果表明: 4—6 月干旱期, 3 年各覆盖处理 0~100 cm 土层的平均含水量均显著(*P*<0.01)高于对照，其中 WM 处理>SM 处理>FM 处理>CK；覆盖第 3 年，从花芽膨大到果实采收，叶幕形成(幼果期)前 0~500 cm 土层 WM 处理和 SM 处理的耗水量显著(P<0.01)低于 CK，叶幕形成后则显著(P<0.05)高于 CK，但耗水总量略低于 CK；FM 处理在叶幕形成前后均显著(P<0.01)高于 CK。WM 处理降低 3—8 月份 5~25 cm 各土壤温度，而升高了 9—11 月份土温，但 5~25 cm 平均地温日变幅始终显著(*P*<0.05)低于 CK，同时近地表气温降低相对湿度升高; SM 处理对地温的影响较小，但明显提高近地表气温而降低相对湿度; FM 处理的地温及日变幅始终高于 CK，近地表气温和相对湿度与 CK 接近，但各种覆盖对物候期均无明显影响。总体 0~60 cm 土层各种养分含量顺序为 WM 处理>CK>FM 处理>SM 处理，且 WM 处理随年份增幅较大; FM 处理 0~20 cm 土层与 SM 处理 0~60 cm 各土层的有机质、全氮和碱解氮等养分降低最显著，相应的全盐量(包括 WM 处理 0~20 cm 土层)均显著(P<0.01)低于 CK。各种覆盖增加了树体枝条生长量，但对枝类组成影响都不大。各种覆盖增加了果实单果重及产量，均以覆盖麦草处理显著(*P*<0.05)高于 CK。水分利用效率 WM 处理显著(*P*<0.01)高于其它处理。综上所述，陇东雨养区苹果园覆盖麦草较佳，长期覆沙和覆膜土壤须补充有机肥及其它养分，单一覆膜还需完善。

关键词: 苹果；地面覆盖；土壤水分和温度；树体生长；产量品质

中图分类号: S661.1

Effects of different mulching materials on orchard environment and tree growth and development*

YIN Xiaoning, LIU Xinlu, Dong Tie, NIU Junqiang, SUN Wentai, MA Ming**

(Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Apple is the fourth largest fruit of the world, apple area and production of china ranked first in the world. Longdong The Loess Plateau Lying in East Gansu Province is the dominant apple producing areas in china, and its area accounts for 11.11% and yield accounts for 8.75%(Gansu rural Year book 2015) .Apple has become a pillar industry to alleviate local poverty and become rich. Drought is one of the mainly limiting factors affecting the production of apple in rain-fed areas, and mulching is an important measure to ensure stable and higher yield of apple. A field experiment was designed to find the suitable measure on soil moisture conservation in apple orchards of Longdong. In 19-year-old Nagafu No.2 apple orchard, wheat straw mulching (WM), river sand mulching(SM), black plastic film mulching (FM) and clean tillage (CK) were applied to study its effects on orchard environment and growth and development of apple trees for three years(November 2010—November 2013),respectively. Results showed that from April to June the average soil moisture contents in 0~100cm soil layers of three mulching treatments were obviously higher(*P*<0.01) than CK, and the order of soil moisture contents was WM > SM > FM > CK. In the third year, water consumption in 0~500 cm of WM and SM were significantly (*P*<0.01) lower than CK from flower bud expanding stage to leaf canopy finished, and then then significantly (*P*<0.05)higher than CK from leaf canopy finished to maturity stage. Water consumption of FM treatment before and after leaf canopy finished was significantly (*P*<0.01)higher than CK. WM decreased soil temperature in 5~25 cm soil depth from March to August, and increased from September to November, but its daily amplitude of average soil temperature in 5~25 cm soil then significantly (*P*<0.05) higher than CK from leaf canopy finished to maturity stage. Water consumption of FM treatment before and after leaf canopy finished was significantly (*P*<0.01) higher than CK. WM decreased soil temperature in 5~25 cm soil depth from March to August, and increased from September to November, but its daily amplitude of average soil temperature in 5~25 cm soil depth from March to November was significantly lower (*P*<0.05) than CK, and its near-surface temperature decreased and relative humidity increased. SM treatment had slight effect on soil temperature, but increased near-surface temperature obviously and decreased relative humidity. Soil temperature and daily amplitude of FM treatment from March to November were always higher than CK, and its near-surface temperature and relative humidity were close to CK. Three mulching treatments had no obvious influence on phenological period. As a whole, the content of nutrients in 0～60 cm soil layer was WM >CK>FM >SM. Almost all kinds of nutrients of WM treatment had the highest increase amplitude ; nevertheless, the organic matter , alkaline hydrolytic and

total N of SM treatment in 0-60cm soil layer and FM treatment in 0-20cm soil layer decreased obviously, and the corresponding total salt content (including WM treatment in 0-20cm soil layer)was significantly(P<0.01)lower than CK. All mulching treatments promoted the tree growth, but had little effect on the shoot ratio. All mulching treatments increased the single fruit weight and yield, but which of WM treatment were significantly (P<0.05) higher than CK. Water use efficiency of WM treatment was significantly (P<0.01) higher than other treatments, and the order was WM >SM >CK>FM. Analysis indicated that wheat straw mulching was better for apple orchard in rain-fed areas of Longdong. IF river sand mulching and black plastic film mulching were used for long-term, the organic fertilizer and other nutrients should be added to the soil. The single film mulching was needed to be improved.
Keywords: Apple; Soil mulching; Soil moisture and temperature; Tree growth; Yield and quality

苹果为世界 4 大水果之一，我国苹果面积及产量分别占世界苹果总产量和面积的 50%以上。甘肃陇东黄土高原为我国苹果优势产区，面积占全国11.11%，产量占8.75%(2015年甘肃农村年鉴)，已成为当地脱贫致富的支柱性产业。采用以海棠为主的乔化砧木，品种以长富 2 号为主的长枝型晚熟苹果栽培在陇东占有主导地位。自上世纪七十年代富士品种引入我国，在陇东八十年代出现第一次栽培高潮，现有成龄园主要为九十年代初期栽植，树龄在 20 年左右，占总面积的 80%以上，承担着主要经济收益。但该区干旱少雨、霜冻等自然灾害频发，始终影响着苹果产业的健康发展，抗旱栽培成为保证苹果持续稳产的重要措施。

覆盖作为干旱半干旱区一项有效保墒措施，因简便易行，尤其地膜覆盖已在北方大田作物上广泛应用，而秸秆覆盖和砂石覆盖也得到部分推广。普遍认为覆膜在改善土壤水热状况、活化土壤养分、提高产量，提高养分和水分利用效率方面作用显著，但同时也有因地温升高造成有机质矿化[1]和硝态氮淋溶[2]，耗水量大[3]，水分利用效率也不高的报道[4]；秸秆覆盖改变了地面热量平衡，在协调地温、提高土壤水分含量，改变田间耗水规律，提高产量方面作用显著，并兼有良好的生态效益，但也有因地温降低明显造成减产的报道[5]。砂石覆盖为一种传统的保墒措施，主要分布在西北各省，具有增温保墒，排盐压碱等作用，报道相对较少。这 3 种覆盖在果园中效果如何，近年来也有了初步研究，内容大多侧重于土壤保墒[6]，其次为对部分土壤理化性状[7-9]或土壤微生物和酶类的影响等[10]。而因地面覆盖产生的土壤环境、近地面生态效应及树体地上地下生长的系统研究鲜见报道，缺乏全面的效应评价和机理探究。苹果为深根性多年生树种，根系可达数米，已有水分测定土层多在 1 米范围之内[6]，甚至仅在土壤表层[7,9]，长期覆盖对较深土层水分分布的影响和利用如何，这方面的研究还比较缺乏；苹果的经济寿命在30年以上，已有试验树龄多在10年生左右的盛果初期[7,9-10]，少有对 20 年生左右处于盛果中期的树体开展研究。现有研究也基本以膜和秸秆两种材料覆盖为主，鲜有将包括沙石在内 3 种不同性质的材料在同一果园覆盖多年作系统连续性比较。

本文在 19 年生苹果园连续 3 年采用麦秸、细河沙和黑色地膜等材料进行覆盖，持续较系统研究了不同覆盖下土壤 5 米内水分动态、表层土壤温度、土壤理化性状、近地表环境、树体营养与生殖生长等效应，分析不同覆盖对各环境因子和树体生长的影响，以及因此引起果园耗水量不同的主要原因，探讨不同性质材料的覆盖特征，分析其机理并提出改进措施，为生产提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在甘肃省泾川县飞云乡元朝村，属半干旱完全雨养农业区；当地年均气温 10 ℃，无霜期 174 d，年平均日照 2 274 h，年平均降雨量在 450 mm 左右，常年多风，年蒸发量在 1 300 mm 以上。试验区为黑垆土，土层深度>10 m, 0~1 m 内土壤容重平均为 1.316 g.cm^{-3}，田间持水量 29.48%。有机质 11.78 g·kg^{-1}，全氮 0.97 g·kg^{-1}，碱解氮 68.81 mg·kg^{-1}，全磷 0.72 g·kg^{-1}，有效磷 25.95 mg·kg^{-1}，全钾 21.4 g·kg^{-1}，速效钾 218.2 mg·kg^{-1}。品种为'长富 2 号', 19 年生，基砧为怀来海棠(Malus robusta Rehd)，树形自由纺锤形，主枝数 13 个，树高 3.0 m；株行距 2.0 m×3.0 m，南北行向。施肥情况：每年株施尿素 1 kg(N46.4%)，NPK 复合肥 1.7 kg(N17%、$P_2O_5$10%、K_2O18%)。试验区设有自动气象站。2011 年、2012 年和 2013 年的降雨量如表 1，其中 2013 年花芽膨大期(3 月 26 日)至新梢停长期(6 月 3 日)及新梢停长期(6 月 4 日)至果实采收前(10 月 1 日)的降雨量分别为 109 mm、495.9 mm。

1.2 试验设计

于 2010 年 11 月 17 日树叶落尽后，选择树体间长势相近的集中地块试验。包括 CK 共 4 个处理，分别

为覆草、覆沙、覆膜和无覆盖处理，3 次重复，完全随机排列，小区共计面积 120 m^2。覆草处理：用当地产麦秸全园均匀覆盖地面，经踩踏紧实厚度为 23 cm(51 000 $kg·hm^{-2}$)，每年春季补充麦秸至原厚度。覆沙处理：用粒径 1~3 mm 洗净的细河沙全园均匀覆盖，厚度为 7 cm 连续覆盖。覆膜处理：先于树行两侧起垄，成内高外低的"八"字型微垄，树根颈处高 7 cm 左右，垄宽 1.2 m，坡度≦5°；垄面覆盖厚 0.008 mm，宽 1.4 m 的黑色微膜，膜边用土压实，每年春季在原位置换新膜覆盖。对照(CK)清耕，常规管理。

1.3　测定指标和方法

水分测定：每小区 1 株，3 次重复；分别于 2011 年(月-日：3-25、4-28、5-31、6-15、8-13、9-25)、2012 年(月-日：4-30、6-1、6-30、9-3、9-26)和 2013 年(月-日：3-26、6-3、10-1)取土；位置为行间距试验株主干 1.2 m 的树冠近外围处(覆膜处理在膜边沿)，20 cm 一层，测定土层 2011 年 0~100 cm，2012 年 0~200 cm，2013 年 0~500 cm，烘干法测定(105 ℃，10 h)土壤质量含水量。2013 年按公式 $W=h\times p\times b\times 10$ 计算土壤储水量(W 为土壤储水量(mm)，h 为土层深度(cm)，p 为土壤容重($g.cm^{-3}$)，b 为土壤质量含水量(%))[4]。其中 0~1 m 土壤容重各处理采用实测值，1~5 m 均采用文献[11]。按公式 $ET=P-\Delta W$ 计算不同生育期及全生育期内群体蒸散量(ET 为该生育期内群体蒸散量(农田耗水量)，P 为该时段降雨量，ΔW 为作物该生育期间土壤储水变化量)[3]。以均值比较。

土温测定：温度计安置在近树冠外围距主干1.0 m的两株间，沿行向在同一水平线上由北向南依次插入5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm长度五支直插式曲管温度计，间距1~2 cm，每处理一组。在3—11月每月的5、10、15、20、25、30日测定，遇雨延后；每日选在早晨6:30左右日出前后，中午14:30左右和下午18:30左右日落前后共3次；不同深度的日均温以每天3次的均值计，各月以6 d的均值比较，并以此最大值与最小值之差为生长期地温变幅；不同深度地温日变幅为一天中的最大值与最小值之差，各月以6 d的均值比较。

地上小气候测定：离地面50 cm高度，树冠下距树干50 cm处悬挂干湿温度计，2011年每日测定时间同地温记录，同时查对相对湿度；以每日3次的均值代表当日的气温和相对湿度，各月以6 d的均值比较。

比叶重测定：2013年8月中旬，每处理3株，选择树冠外围大于30 cm的长枝中部成熟混合叶片(一般从基部上数第7~第8片叶)100片，用美国产激光叶面积仪CI-203型扫描计算总叶面积；此后用105 ℃杀青30秒，再置入70℃烘箱连续烘24 h以上至恒重，称总叶干重。比叶重=总叶干重/总叶面积($g\ m^{-2}$)[13]。

果实品质测定：2011—2013年9月底—10月初果实成熟期，单株重复，每株随机采摘树冠中部一大枝上处于树冠外围及内膛的15个果实，一周后测定各个性状，2013年包括果实水分含量并计算鲜产量或干产量，按公式$WUE=Y/ET$计算产量水平水分利用效率(WUE为鲜产量或干产量水平水分利用效率，相应Y为鲜产量或干产量，ET为生育期内群体蒸散量)[3]。以均值比较。

土壤养分测定：2011—2013年11月中旬，每处理按"S"形5点随机取样,每样点靠近树冠投影外缘，取0~60 cm深度土样，每20 cm一层(0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm)，共3层，同层土样均匀混合密封，及时送测。测定内容包括有机质等17个指标。各指标采用常规法测定。

土壤容重：环刀法测定。

土壤根系测定：壕沟法测定[12]。2013年11月中旬，单株重复，于试验株树冠投影中部沿行向挖一条宽度200 cm，深100 cm的垂直剖面，每20 cm一层(0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm和80~100 cm)共5层,分别调查不同粗度根系数量。

枝类组成调查：2011—2013 年于落叶后的 11 月中旬，单株重复，调查试验株新梢生长量及其枝类组成，并计算出各类枝所占百分数。以均值比较。

1.4　数据统计分析方法

采用DPS8.5，选择Duncan检验进行差异显著性比较，采用Microsoft Excel 2003软件绘制图表。

表 1　2011—2013 年的降雨量

Table 1　Rainfall in 2011~2013 year　　mm

年份 Year	1 月 January	2 月 February	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	12 月 December	全年 Annual
2011	0	0	6.3	3.5	35	15.0	51.5	24.0	216.0	11.0	23.0	0	385.3
2012	0	0	0	55.3	59.5	47.1	86.1	145.6	109.1	11.6	0	0	514.3

2013	0	0	0	32.9	76.1	52.3	324.2	61.3	58.1	0	0	0	604.9

2　结果与分析

2.1　不同覆盖材料对土壤水分的影响

2.1.1　不同覆盖的保墒效果

由表 2 知，2011—2013 年从花芽膨大至幼果期降雨稀少的干旱期，0~100 cm 土层的平均含水量三种覆盖处理基本显著(P<0.01)高于 CK，以干旱较重的 2011 年规律最明显，且表现出 WM 处理的水分含量高而稳定，其次为 SM 处理及 FM 处理；0~200 cm 土层的平均含水量(2012—2013 年)WM 处理显著(P<0.05)高于 CK 外，其它覆盖处理与 CK 间差异小；0~500cm 土层的平均含水量(2013 年)各覆盖处理显著(P<0.05)高于 CK。

表 2　不同覆盖处理苹果各生育期的果园土壤含水量

Table 2　Soil moisture contents of　apple orchard under different mulching treatments at different growth stages of apple　　%

土层 Soil layer(cm)	年份 Year	处理 Treatment	花芽膨大期 Flower bud expanding stage	花期 Flowering stage	新梢停长期 Shoot growth withhold stage	幼果期 Young fruit stage	果实膨大期 Fruit enlargement stage	成熟期 Maturity stage
0~100	2011	WM	20.03±0.113cB	18.97±0.031abA	20.43±0.118aA	18.09±0.128aA	18.53±0.126aA	22.44±0.130aA
		SM	20.67±0.109bB	19.43±0.086aA	19.21±0.200aA	16.9±0.252aAB	17.72±0.348aA	21.95±0.166aAB
		FM	21.84±0.193aA	18.51±0.212bA	19.05±0.445aA	15.68±0.448bB	17.36±0.565aA	22.13±0.082aAB
		CK	19.14±0.084dC	15.40±0.299cB	15.15±0.328bB	12.88±0.053cC	14.18±0.332bB	20.95±0.256bB
	2012	WM		21.61±0.345aA	21.82±0.203aA	18.51±0.768aA	24.76±0.352aA	24.44±0.382aA
		SM		19.93±0.442abA	19.22±0.069bB	18.06±0.207aA	23.08±0.075aAB	21.66±0.295bAB
		FM		18.58±0.772bA	17.02±0.446cC	16.33±0.617abAB	23.25±0.381aAB	24.43±0.201aA
		CK		18.36±0.085bA	15.83±0.127dC	14.48±0.368bB	20.48±0.836bB	21.10±0.577bB
	2013	WM	18.42±0.689abA		19.63±0.510aA			21.85±0.251aA
		SM	17.39±0.815abA		16.60±0.274bB			20.23±0.212bB
		FM	19.38±0.556aA		20.63±0.170aA			21.44±0.039aAB
		CK	16.35±0.256bA		15.07±0.152cB			21.26±0.221aAB
0~200	2012	WM		20.78±0.489aA	20.94±0.254aA	18.04±0.679aA	21.83±0.780aA	22.57±0.665aA
		SM		19.91±0.490abA	19.21±0.143bB	17.57±0.049aAB	20.24±0.433abAB	20.47±0.226bA
		FM		18.57±0.836bA	17.44±0.517cC	16.18±0.617bBC	20.75±1.082aAB	22.34±0.590aA
		CK		18.52±0.318bA	17.12±0.071cC	15.72±0.317bC	18.40±0.800bB	20.34±0.622bA
	2013	WM	18.95±0.343aA		18.55±0.233aA			21.85±0.251aA
		SM	17.41±0.942aA		16.60±0.467bBC			20.23±0.212bBC
		FM	19.73±0.441aA		19.46±0.518aAB			19.34±0.108bC
		CK	17.67±0.186aA		16.01±0.131bC			21.26±0.221aAB
0~500	2013	WM	18.27±0.473abA		18.27±0.197aA			20.16±0.228aA
		SM	17.86±0.608abA		17.85±0.216aA			19.62±0.295abAB
		FM	19.07±0.169aA		17.30±0.461aAB			18.20±0.402cB
		CK	17.16±0.130bA		15.79±0.079bB			18.60±0.075bcAB

表中数据为平均值±标准误，同列不同小、大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)水平；WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照，下同。The date was average ±standard error in table. Different small and capital letters in the same column meant significant difference at P<0.05 and P<0.01 levels, respectively; WM, SM. FM and CK in table represented respectively wheat straw mulching、sand mulching, blach film mulching and no mulching.

2.1.2　连续覆盖后 0~500 cm 土壤含水量动态、土壤贮水量和耗水量

由图 1 知，覆盖 3 年后，3 月下旬苹果花芽膨大期，各覆盖处理 0~40 cm 的土壤含水量显著(P<0.01)高于 CK；FM 处理各土层的含水量始终较高。6 月初新梢停长期，不同覆盖处理 100~200 cm 的土壤含水量接近，200 cm 以下土层的含水量随深度差别逐渐明显，其中 280~500 cm 土层含水量 WM 处理和 SM 处理均显著

(*P*<0.01)高于 FM 处理和 CK。10 月初果实成熟期，各种处理不同土层含水量分布趋势相似，但 FM 处理在 140~340 cm 间各土层显著(*P*<0.01)低于 CK，在 160～500 cm 间各土层显著(*P*<0.01)低于 WM 处理和 SM 处理，深层水分未能补偿。同样可知, WM 处理 3 个时期在 0~80 cm 土层范围内的含水量始终保持随土层深度逐渐降低, 100~500 cm 土层含水量变动较大，果实成熟期各土层的含水量基本

错误!链接无效。　错误!链接无效。　错误!链接无效。

图 1　苹果花芽膨大期(a)、新梢停长期(b)和果实成熟期(c)不同覆盖处理 0~500cm 土层含水量

Fig. 1　Soil moisture content in 0-500 cm soil layer of different mulching treatments in flower bud expanding stage(a), shoot growth withhold stage (b) and maturity stage(c)

恢复到花芽膨大期前。SM 处理 3 个时期各土层水分分布相似, 0~60 cm 土层的含水量基本随土层深度逐渐降低，以 0~120 cm 土层的含水量变动大，果实成熟期各土层的含水量基本得到了恢复。FM 处理 3 个时期 0~100 cm 各土层的含水量始终较高, 100~500 cm 土层含水量变动大，果实成熟期 140~500 cm 土层的含水量未恢复到花芽膨大期。CK3 个时期 0~200 cm 土层的含水量变动明显大, 200 cm 以下土层含水量变动小呈接近平行的下降趋势，成熟期 400~500 cm 土层的含水量未能恢复到花芽膨大期。

由表 3 知，覆盖第 3 年的苹果花芽膨大期各覆盖处理 0～500 cm 土壤的贮水量均显著(*P*<0.01)高于 CK, FM 处理又显著(*P*<0.05)高于 SM 处理和(*P*<0.01)WM 处理，表现出不同的保墒作用。新梢停长期 FM 处理、CK 和 SM 处理的贮水量较前期有不同程度的降低，而 WM 提高，但不同处理均显著(*P*<0.01)高于 CK，且

表 3　不同覆盖处理苹果园 0~500 cm 土壤贮水量及耗水量

Table 3　Soil water retaining and water consumption in 0-500cm soil layer of different mulching treatments　　mm

处理 Treatment	土壤贮水量 Soil moisture retaining			土壤耗水量 Soil water consumption		
	花芽膨大期 Flower bud Expanding stage (3-26)	新梢停长期 Shoot growth withhold stage (6-3)	成熟期 Maturity stage (10-1)	叶幕形成前 Before leaf canopy finished (3-26~6-3)	叶幕形成后 Leaf canopy finished later (6-4~10-1)	果实采收前 Before harvest (3-26~10-1)
WM	1174.7±7.06bB	1216.9±4.44aA	1319.5±20.88aA	66.8±4.97dD(14.5%)	393.3±17.60aAB(85.5%)	460.1±13.88bB(100%)
SM	1193.7±12.00bAB	1178.9±2.22bB	1303.4±3.22aA	123.8±9.86cC(25.0%)	371.3±4.84aAB(75.0%)	495.1±13.49bB(100%)
FM	1244.3±12.67aA	1088.4±11.22cC	1157.1±20.59cB	264.8±6.82aA(38.3%)	427.2±25.84aA(61.7%)	692.1±31.11aA(100%)
CK	1113.5±11.13cC	1024.9±6.55dD	1206.7±6.49bB	197.7±17.19bB(38.6%)	314.2±13.01bB(61.4%)	511.8±6.93bB(100%)

相互间存在显著差异(*P*<0.01)，贮水量顺序变为 WM 处理>SM 处理>FM 处理>CK。成熟期各处理的贮水量较新梢停长期都得到提高，其中 WM 处理和 SM 处理均显著(*P*<0.01)高于 CK 和 FM 处理；其次除 FM 处理外，其它处理的贮水量都超过花芽膨大期。各处理叶幕形成前耗水量均较少，占整个果实采摘前耗水总量的 14.5~38.6%；而 WM 处理和 SM 处理的耗水量又显著(*P*<0.01)低于 CK(分别低出 66.2%和 59.7%), FM 处理的耗水量显著(*P*<0.01)高于 CK 和其它覆盖处理(高出 33.9~296.4%)。叶幕形成后到采收期各处理的耗水量均较高，达到采摘前耗水总量的 61.4~85.5%，且各覆盖处理的耗水量都显著(*P*<0.05)高于 CK(高出 8.6~36%)。从花芽膨大的 3 月下旬至果实采摘的 10 月初耗水总量 WM 处理和 SM 处理低于 CK 但不显著，而 FM 处理显著(*P*<0.01)高于 CK 和其它覆盖处理(高出 26.1~33.5%)。

2.2　不同覆盖的土壤温度比较

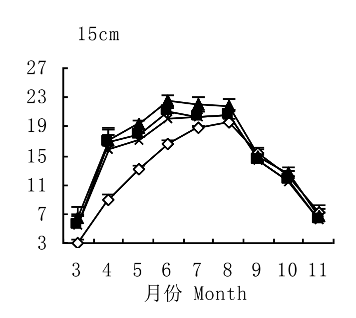
2.2.1　不同处理 5~25 cm 土壤温度动态

由图 2 知, 3—8 月 WM 处理和 CK5~25 cm5 个土壤深度及其平均日均温逐月升高, 8 月达到最大值，而 SM 处理和 FM 处理提前到 6 月(除 FM 处理 25 cm 在 8 月达最大值外)；地温顺序基本为 FM 处理>SM 处理>CK>WM 处理。不同处理间总体以较浅深度的地温差异较大: 3 月 WM 处理 5 cm 和 10 cm 土壤深度地温显著(*P*<0.05)低于 CK 和 FM 处理，低出 4.27 ℃和 7.43 ℃。4—6 月份 WM 处理各深度地温显著(*P*<0.01)低于 CK 及 SM 处理，4—8 月份显著(P<0.01)低于 FM 处理，低出范围分别在 3.41~8.79 ℃、4.41~8.95℃和 2.26~10.27 ℃之间。其次, 5—6 月份 FM 处理各深度地温显著(*P*<0.05)高于 CK，高出 1.47~4.05℃。5~25 cm 平均地温：WM 处理 4—6 月份显著(*P*<0.01)低于 CK 及 SM 处理，3—8 月份显著(P<0.01)低于 FM 处理，分

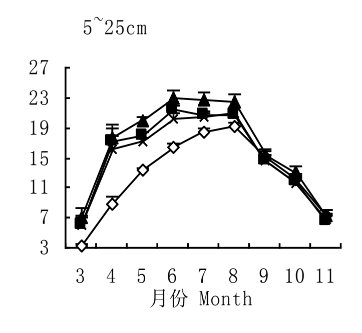
别低出3.76~7.15℃、4.63~8.22℃和3.28~8.70℃; FM处理5—7月份显著(P<0.01)高于CK，高出2.30~2.80℃，也显著(P< 0.05)高于SM处理，高出1.71~2.11 ℃。9—11月份各处理不同土壤深度以高低不等的幅度交替下降，降幅顺序基本为FM处理>SM处理>CK>WM处理，而地温顺序基本变为FM处理>WM处理>SM处理或CK，相互间差异小(0.05~1.69℃)。

3月份各处理10 cm以下深度地温低于7℃，根系未开始生长[12]，4—11月份基本在生长范围内。根系生长期FM处理、SM处理、CK及WM处理5个深度及平均地温变幅分别在13.89~18.28 ℃、13.99~16.37 ℃、13.23~14.90 ℃和10.96~13.01 ℃之间，各处理均随土壤深度地温变幅减小，每一深度各处理间变幅顺序同3—8月地温顺序。

由图2同样知，自3月至8月4种处理各自不同深度间的日均温基本随深度逐渐降低，温差也逐月缩小(WM处理除3月外)，FM处理、CK、SM处理和WM处理各自不同深度温差分别在0.01~5.91 ℃、0.02~5.42 ℃、0.08~3.26 ℃和0.02~1.24 ℃之间; 9—11月份规律同之前相反，而各处理不同深度温差分别在0.03~0.87 ℃、0.02~0.49 ℃、0.04~0.86 ℃和0.01~1.27 ℃之间。



错误!链接无效。错误!链接无效。



错误!链接无效。错误!链接无效。

图2 不同覆盖处理5~25 cm各土壤深度日均温生长期动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of daily average temperature of each of 5~25 cm soil depths of different mulching treatments in growth stages

2.2.2 不同处理5~25 cm土壤温度日变幅动态

由图3知，3—11月份4种处理的5~25 cm 不同深度地温日变幅均随深度逐渐降低，其中3—9月份又基本随月份逐渐降低，10—11月份又有所升高。3—11月份不同深度日变幅顺序基本为WM处理<SM处理<CK<FM处理(3—4月份FM处理<CK)。其中, WM处理5 cm~15 cm土壤(3—11月份)和20 cm~25 cm

错误!链接无效。

图3 不同覆盖处理苹果生长期5~25 cm各深度地温日变幅

Fig.3 The temperature daily amplitude of each of 5–25 cm soil depths of different mulching treatments in apple growth stages

土壤(6—7月份)的日变幅均显著(P<0.05)低于CK; WM处理5 cm~15 cm土壤(3—11月份)、20 cm土壤 (6—11月份)和25 cm土壤(5—8月份)的日变幅均显著(P<0.05)低于FM处理; SM处理5 cm土壤(6—8月份)、10 cm土壤(7—11月份)和20 cm~25 cm土壤(7—8月份)的日变幅也均显著(P<0.05)低于FM处理。5~25 cm土壤平均地温日变幅WM处理3—11月份显著(P<0.05)低于CK，而FM处理7月份显著(P<0.05)高于CK。

其次, WM 处理 3 月份和 3—11 月份分别显著($P<0.05$)低于 SM 处理和 FM 处理, SM 处理 6—8 月份又显著($P<0.05$)低于 FM 处理。

2.3 不同覆盖近地表气温及相对湿度比较

由图 4 知，不同覆盖后离覆盖层 50 cm 处的气温除 11 月份外基本为 WM 处理<CK<FM 处理<SM 处理, 相差 0~1.7 ℃之间,相互间差异不显著。相对湿度的大小顺序与气温相反, WM 处理较 CK 提高 3.18~18.13%。7~10 月份 WM 处理的相对湿度在 87.6~96.8%之间，其中 7 月份和 9 月份显著($P<0.05$)高于其它处理(67.7~86.5%), 8 月份和 10 月份显著($P<0.05$)高于 SM 处理(分别为 75.4%和 66.9%)。

错误!链接无效。

图 4 不同覆盖处理苹果生长期近地表气温及相对湿度

Fig. 4 The near-surface temperature and relative humidity of different mulching treatments in apple growth stages

2.4 不同覆盖的土壤养分含量比较

由表 4 知，同土层各年份有机质及各大量、中微量元素含量总体表现为 WM 处理>CK>FM 处理>SM 处理(2011 年主要是大量元素有效速效养分含量基本 SM 处理>CK，中微量元素 SM 处理>CK 或 WM 处理), 相互间多差异显著($P<0.01$)，且随年份规律性越明显。WM 处理各土层有机质、大量(除 20~60 cm 土层全磷外)和中微量元素总体随年份以较大幅度增加，2013 年较 2011 年分别增加 9.32~29.09%、23.28~167.5%和 25~603.46%；SM 处理各土层有机质、碱解氮和水溶性钙以较大幅度降低，分别降低 5.57~15.57%、21.92~45.12%和 28.57~50%; FM 处理 0~20 cm 土层有机质降低 4.27%。各处理养分含量基本随土层逐渐降低，但硝态氮 SM 处理各年份随土层深度逐渐增加为主，而 CK 以降低为主, WM 处理和 FM 处理由表层含量高,一年后均下移至 20~40 cm 土层。土壤全盐量 WM 处理和 FM 处理 0~20 cm 土层均显著($P<0.01$)低于 CK, SM 处理 0~60 cm 各土层均显著($P<0.01$)低于 CK、SM 处理和 WM 处理。土壤 PH 值总体 WM 处理较低，但 SM 处理始终随土层深度逐渐升高。2013 年 FM 处理 0~20 cm 土层容重显著($P<0.05$)低于 CK。

表 4 不同覆盖处理 0~60 cm 土壤理化性状

Table 4 Soil physical and chemical properties in 0–60 cm soil layer of different mulching treatments

年 Year	土层 Soil layer (cm)	处理 Tr ·	有机质 Organic matter ($g·kg^{-1}$)	PH	全氮 Total N ($g·kg^{-1}$)	碱解氮 Alkaline hydrolytic N ($mg·kg^{-1}$)	铵态氮 Ammonium N ($mg·kg^{-1}$)	硝态氮 Nitrate N ($mg·kg^{-1}$)	全磷 Total P ($g·kg^{-1}$)	有效磷 Available P ($mg·kg^{-1}$)	全钾 Total K ($g·kg^{-1}$)	速效钾 Available K ($mg·kg^{-1}$)	有效锌 Available Zn ($mg·kg^{-1}$)	有效硼 Available B ($mg·kg^{-1}$)	有效铁 Available Fe ($mg·kg^{-1}$)	水溶性钙 Soluble Ga (%)	水溶性镁 Soluble Mg (%)	全盐量 Total salt content (%)	容重 Soil bulk density ($g·cm^{-3}$)
2011	0-20	WM	16.5aA	8.09cC	1.16aA	40cC	25.34aA	10.13bB	0.88aA	50.99aA	20.42abA	414aA	1.09bB	0.79bB	5.75bB	0.01cC	–	–	–
		SM	15.2bB	8.06dC	1.06cB	73bB	14.19bB	1.11dD	0.82aA	49.15aA	20.11bA	373bB	1.16aA	0.73cB	6.4aA	0.014bB	–	–	–
		FM	16.4aA	8.22aA	0.99dC	78bAB	12.16bB	4.75cC	0.83aA	28.47bB	20.74aA	251dD	0.31dD	0.67dC	2.97cC	0.024aA	–	–	–
		CK	15.2bB	8.13bB	1.1bB	85aA	12.16bB	20.12aA	0.81aA	23.65cB	20.11bA	292cC	0.46cC	0.99aA	2.51dD	0.011cC	–	–	–
	20-40	WM	12.9aA	8.18cC	0.92bB	63bB	18.25aA	6.65bB	0.84aA	43.64aA	20.11aA	261aA	0.29bB	0.7aA	2.68bB	0.008cC	–	–	–
		SM	12.2bB	8.03dD	0.95aA	82aA	20.27aA	0.92dC	0.71bB	16.47bB	20.11aA	225bB	0.65aA	0.38bB	6.22aA	0.024aA	–	–	–
		FM	10.6cC	8.29aA	0.8cC	44cC	11.15bB	4.39cB	0.66cBC	8.83cC	20.11aA	149cC	0.05dD	0.68aA	1.64dD	0.008cC	–	–	–
		CK	9.52dD	8.24bB	0.82cC	45cC	14.19bB	10.72aA	0.64cC	2.48dD	20.74aA	149cC	0.13cC	0.34cB	1.82cC	0.012bB	–	–	–
	40-60	WM	9.33dB	8.24bAB	0.7cB	81aA	14.19aA	5.66bB	0.65aA	0.98bB	20.11bA	134aA	0.12bB	0.55bB	2.33bB	0.016aA	–	–	–
		SM	9.52cB	8.2cB	0.74aA	62bB	12.16bcB	18.32aA	0.62abAB	1.08bAB	20.11bA	118bcB	0.15aA	0.44cC	3.58aA	0.018aA	–	–	–
		FM	10.9aA	8.29aA	0.72bAB	33cC	11.66cB	3.04cC	0.58bB	1.09abAB	22.63aA	113cB	0.03cC	0.75aA	1.66cC	0.009bB	–	–	–
		CK	10.6bA	8.23bcB	0.73abA	33cC	13.18abAB	3.79cC	0.6bAB	1.23aA	20.11bA	123bAB	0.12bB	0.24dD	3.55bA	0.01bB	–	–	–
2012	0-20	WM	15.65aA	8.51aA	1.15aA	69bB	0.57dD	16.94bB	0.82bB	25.73bB	21.81aA	566aA	1.1bB	0.5cC	6.83dD	0.0095cB	0.00092cC	0.037bB	–
		SM	11.4cC	8.47aA	0.97cC	68bB	1.7cC	5.64dD	0.79cBC	24cC	21.16bB	273bB	0.97dD	0.58aA	7.33bB	0.0095cB	0.0015aA	0.033cC	–
		FM	13.6bB	8.5aA	1.07bB	65bB	4.52aA	7.78cC	0.76dC	19.28dD	21.81aA	283bB	1.01cC	0.38dD	7.04cC	0.011bB	0.00061dD	0.036bB	–
		CK	13.5bB	8.18bB	1.1bAB	82aA	2.82bB	23.74aA	0.91aA	32.74aA	21.16bB	293bB	1.25aA	0.54bB	7.57aA	0.013aA	0.0012bB	0.053aA	–
	20-40	WM	9.51bA	8.39cC	0.88cC	56bB	1.7bB	20.74aA	0.53dC	13.87bB	20.5bB	243bB	0.71bB	0.52aA	6.62aA	0.011aA	0.0018cC	0.037cC	–
		SM	8.33cB	8.57aA	0.74dD	30dD	0.57dD	2.39cC	0.66bB	11.4cC	20.5bB	184cC	0.28dD	0.44cC	5.51dD	0.009bB	0.0021bB	0.031dD	–

		FM	10.3aA	8.45bB	1.02bB	40cC	1.13cC	18.17bB	0.62cB	11.03cC	21.16aA	174cC	0.38cC	0.3dD	5.64cC	0.011aA	0.0024aA	0.049aA	–
		CK	9.9abA	8.34cBC	1.13aA	74aA	2.82aA	20aA	0.83aA	24.72aA	21.16aA	278aA	0.85aA	0.47bB	6.14bB	0.011aA	0.0018cC	0.042bB	–
		WM	8.83abA	8.4bB	0.82bB	47abA	7.35aA	9.11bB	0.64aA	2.94aA	21.16aA	139aA	0.53aA	0.3bB	5.97dD	0.011aA	0.0024bB	0.038bA	–
	40-60	SM	7.27cB	8.55aA	0.67dD	27cB	0.57dD	6.56dD	0.44cC	3.09aA	20.5bA	119bB	0.18cB	0.37aA	6.62cC	0.009bB	0.0031aA	0.03dC	–
		FM	8.68bA	8.32cC	0.76cC	40bA	5.09bB	7.32cC	0.51bB	1.02bB	21.16aA	104cC	0.18cB	0.28cB	6.83bB	0.01abAB	0.0024bB	0.033cB	–
		CK	9.22aA	8.31cC	0.91aA	51aA	1.7cC	20aA	0.52bB	3.09aA	21.16aA	119bB	0.2bB	0.2dC	7.45aA	0.011aA	0.00091cC	0.04aA	–
		WM	21.3aA	7.93bB	1.43aA	107aA	8.04bB	68.05aA	1.09aA	88.4aA	23.18aA	643aA	3.23aA	1aA	13.27bB	0.01aA	0.002bB	0.058bB	1.29aAB
	0-20	SM	14.2dC	7.77cC	1.08dD	57dD	6.03dD	42.46bB	1.01bB	82.64bB	23.68aA	274cB	2.21dD	0.76bBC	13cC	0.01aA	0.002bB	0.04cC	1.32aA
		FM	15.7cB	7.97aA	1.17cC	84cC	7.46cC	7.2cC	0.9cC	78.89cC	24.05aA	343bB	2.53cC	0.62cC	13.57aA	0.012aA	0.004aA	0.048cBC	1.19bB
		CK	15.9bB	7.96aA	1.26bB	95bB	8.61aA	47.02bB	0.88cC	74.28dD	23.18aA	286cB	2.57bB	0.84bAB	13.13cBC	0.013aA	0.004aA	0.16aA	1.29aAB
		WM	14.6aA	7.77dC	1.14aA	113aA	8.61bB	83.37aA	0.66cB	85.67aA	23.43aA	542aA	2.04aA	0.88aA	11.86aA	0.019aA	0.006bB	0.1aA	1.36aA
2013	20-40	SM	10.3cC	7.91aA	0.81dD	45cC	6.31dC	25.16cC	0.68cB	28.6dD	22.8aA	281bB	0.68dD	0.54cC	8.03dD	0.012cC	0.002cC	0.04dD	1.28abA
		FM	13.4bB	7.87bAB	1.05cC	86bB	7.46cBC	47.38bB	0.76bA	39.89cC	22.87aA	291bB	1.34cC	0.71bB	9.72cC	0.017bB	0.001dD	0.07bB	1.27abA
		CK	14.6aA	7.83cB	1.09bB	84bB	10.33aA	22.68cC	0.81aA	64.74bB	23.05aA	255bB	1.8bB	0.76bAB	10.39bB	0.013cC	0.008aA	0.051cC	1.24bB
		WM	10.2bB	7.71dD	0.87bB	107aA	11.48aA	32.37bB	0.44cC	13.04aA	22aA	211aA	0.77aA	0.74aA	8.56cC	0.038aA	0.003cC	0.16aA	1.4aA
	40-60	SM	8.99cC	8.04aA	0.72cC	41dC	5.74dD	25.52bBC	0.57bAB	11.74bB	23.3aA	155bB	0.38dD	0.62bAB	8.67cBC	0.012dD	0.001dD	0.043dD	1.34aA
		FM	11.6aA	7.74cC	0.89aA	101bA	8.61bB	6.44cC	0.63aA	12.6aAB	23.05aA	192aAB	0.73bB	0.58bB	9.8aA	0.018cC	0.013aA	0.13bB	1.36aA
		CK	8.57dD	7.78bB	0.71cC	80cB	7.46cC	81.12aA	0.54bB	7.56cC	23.05aA	196aAB	0.42cC	0.66abAB	8.84bB	0.029 bB	0.004bB	0.083cC	1.29aA

2.5 不同覆盖不同深度土层根系比较

连续覆盖 3 年后, 2013 年 11 月中旬苹果各级根系如图 5, <1 mm 的根系 WM 处理随土层深度增加逐渐减少, 0~20 cm 土层 WM 处理显著(P<0.01)高于其它处理; CK 先随土层增加逐渐增多后又逐渐降低, 在 40~60 cm 土层最高且显著高于其它处理(P<0.05); 其它覆盖在 20~80 cm 土层较高。1 mm 以上根系各处理在不同土层变化不大, 各处理间差异基本不显著。

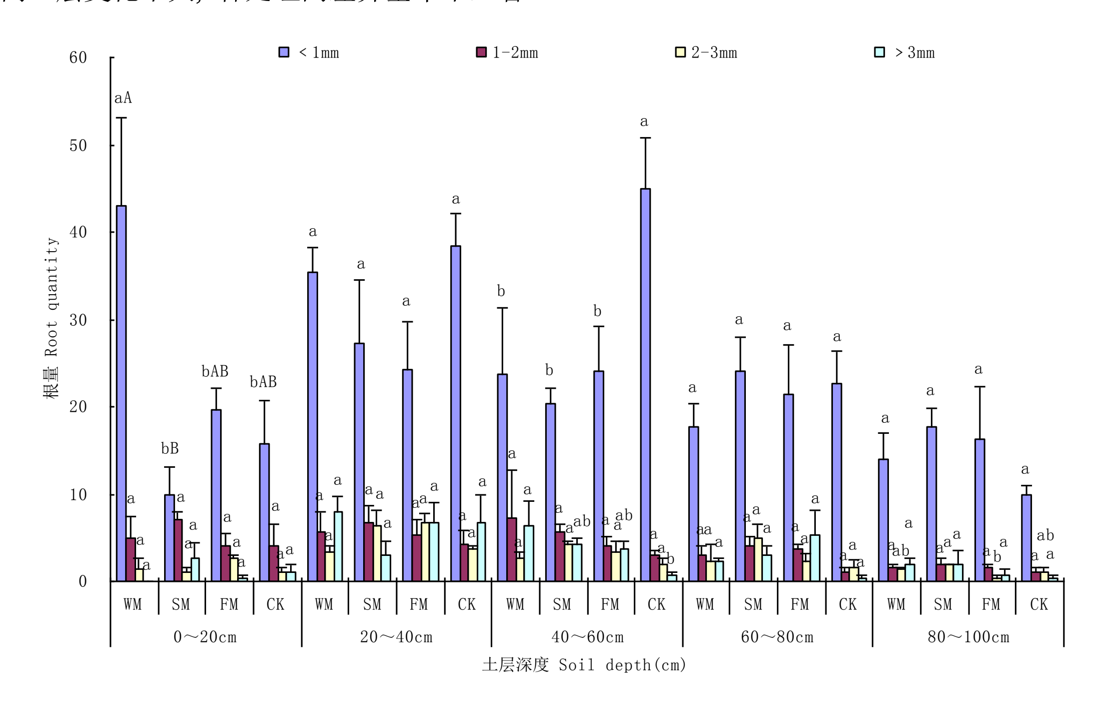


图 5　0~100 cm 土层不同覆盖处理的苹果根系分布

Fig. 5　Apple roots distribution in 0–100 cm soil layer of different mulching treatments

2.6 不同覆盖处理生长量、枝类比例、比叶重、产量及水分利用效率比较

由表 5 知, 各覆盖处理与 CK 的生长量 2011 年相互间差别小, 一年后覆盖处理均大于 CK, 以 SM 处理的新梢长度显著(P<0.05)高于 CK, 高出 30%和 38.9%。三年各处理新梢粗、总枝量及枝类比例间差异均不

显著。2013 年测得比叶重各覆盖处理均高于 CK。

表 5　不同覆盖处理的树体生长量、枝类组成及比叶重

Table 5　Growth amount shoots composition and specific leaf weight of different mulching treatments

年份 Year	处理 Treatment	新梢长 Shoot length (cm)	新梢粗 Shoot thickness (mm)	总枝量 Total quantity of branches (hm^{-2})	不同枝类比例 Different branches ratio (%)		比叶重 Specific leaf weight ($g.m^2$)
					<5~15cm	>15cm	
2011	WM	29.6±2.0aA	5.1±0.19aA	1791207±162946aA	68.8±1.51aA	31.2±1.51aA	—
	SM	27.6±1.39aA	4.8±0.21aA	1694637±200638aA	76.2±2.15aA	23.8±2.15aA	—
	FM	28.4±0.69aA	4.6±0.13aA	1436562±177272aA	74.2±3.33aA	25.8±3.33aA	—
	CK	28.8±1.90aA	5.0±0.19aA	1590741±319264aA	70.0±2.96aA	30.0±2.96aA	—
2012	WM	37.5±2.77abA	6.2±0.44aA	1181040±160686aA	76.4±3.22aA	23.6±3.22aA	—
	SM	41.1±1.18aA	6.2±0.13aA	1020645±189861aA	76.5±5.34aA	23.5±5.34aA	—
	FM	37.8±2.47abA	6.4±0.07aA	1502940±201574aA	76.0±2.07aA	24.0±2.07aA	—
	CK	31.7±0.96bA	5.9±0.07aA	1475745±289154aA	73.1±4.30aA	26.9±4.30aA	—
2013	WM	29.0±0.68abA	5.4±0.13aA	1438560±108058aA	70.9±2.25aA	29.1±2.25aA	121.54
	SM	36.4±0.92aA	5.3±0.14aA	1428570±40885aA	71.9±1.65aA	28.1±1.65aA	117.51
	FM	28.1±4.71abA	5.0±0.11aA	1283715±148931aA	73.4±6.70aA	26.6±6.70aA	122.96
	CK	26.2±2.12bA	5.3±0.34aA	1398600±69930aA	77.1±3.22aA	22.9±3.22aA	112.66

由表 6 知，各种覆盖的单果重第一年 SM 处理较高，后两年变为 WM 处理最高。其它性状差异小。

表 6　不同覆盖处理的果实性状

Table 6　Fruit quality of different mulching treatments

年份 Year	处理 Treatment	单果重 Single fruit weight (g)	果型指数 Fruit-type index	去皮硬度 Peeled fruit firmness (Kg cm^{-2})	可溶性固形物含量 Soluble solids contents (%)	酸度 acidity(%)
2011	WM	178.0±5.42abA	0.899±0.006aA	9.03±0.12aA	11.97±0.17bB	0.389±0.361aA
	SM	185.7±4.24aA	0.914±0.014aA	8.83±0.06aAB	11.62±0.22bB	0.364±0.437aA
	FM	182.6±3.56abA	0.895±0.010aA	8.54±0.07bB	11.83±0.13bB	0.383±0.384aA
	CK	170.2±4.43bA	0.887±0.004aA	8.93±0.09aA	13.15±0.14aA	0.385±0.831aA
2012	WM	206.4±1.63aA	0.972±0.005aA	7.80±0.11aA	12.29±0.41aA	0.325±0.033bAB
	SM	190.4±1.63aAB	0.951±0.007aA	8.20±0.13aA	11.53±0.44aA	0.450±0.011aA
	FM	189.2±7.57aAB	0.930±0.020aA	7.83±0.20aA	12.50±0.41aA	0.341±0.044bAB
	CK	159.3±8.88bB	0.927±0.018aA	7.87±0.27aA	12.10±0.70aA	0.217±0.007cB
2013	WM	179.2±9.71aA	0.874±0.011aA	8.10±0.18aA	11.54±0.49aA	0.316±0.037aA
	SM	162±5.30abA	0.889±0.010aA	7.98±0.17aA	11.96±0.34aA	0.289±0.031aA
	FM	172.2±1.65abA	0.887±0.012aA	8.18±0.13aA	12.11±0.13aA	0.263±0.040aA
	CK	150.6±6.67bA	0.872±0.012aA	7.90±0.16aA	12.86±0.42aA	0.244±0.009aA

由表 7 知，干物质含量覆盖处理低于 CK。鲜产量及干产量覆盖处理均高于 CK，其中 WM 处理鲜产量显著(P<0.05)高于 CK。鲜产量水分利用效率和干产量水分利用效率的顺序均为 WM 处理>SM 处理>CK>FM 处理，WM 处理的鲜产量水分利用效率较其它处理显著(P<0.01)高，高出 18.7~55.9%。

表 7　不同覆盖处理的产量及水分利用效率

Table 7　Yield and water use efficiency of different mulching treatments

处理 Treatment	干物质含量 Dry matter content (%)	鲜产量 Fresh yield ($kg·hm^{-2}$)	干产量 Dry yield ($kg·hm^{-2}$)	鲜产量水分利用效率 Water use efficiency of fresh yield ($kg·mm^{-1}·hm^{-2}$)	干产量水分利用效率 Water use efficiency of dry yield ($kg·mm^{-1}·hm^{-2}$)
WM	12.27	53705.8±2910.33aA	6589.7±357.10aA	116.8±0.846aA	14.3±0.72aA
SM	13.25	48549.7±1589.41abA	6432.8±210.60aA	98.4±5.86bAB	13.0±0.78aAB
FM	13.96	51608.3±495.67abA	7204.5±69.20aA	74.9±3.28cB	10.4±0.46bB
CK	14.15	45124.8±1998.31bA	6385.2±282.76aA	88.3±4.63bcB	12.5±0.65abAB

3 讨论

3.1 麦草覆盖

本试验表明果园覆盖麦草的保墒作用显著，表层土壤含水量高而稳定。覆草在时间上协调了土壤水分供应，显著降低了树体枝叶稀少、叶幕未完全形成前果园土壤的无效蒸发，相反显著增加了叶幕形成后果实膨大树体生长需水关键期[14]的有效蒸腾，而果实整个发育阶段耗水总量低于不覆盖，这利于果园的持续生产。其次，果园麦草覆盖春夏有明显的低温效应，这一方面对保墒有利，另一方面可使春季(4月上旬)开始大于7 ℃适宜根系生长[12]的时间延迟10~15天，可能延缓根系生长与养分吸收，但苹果为多年生深根性植物，春季根系发生、开花座果及新梢前期生长主要为上一个生长季的储藏[16]养分，未见不良影响；而覆草秋季又有一定的保温作用，可使秋季(11月中旬)根系生长延长5-10天，这有利养分吸收、储藏和下一年的再生产[17]。覆草也使果园在整个生长季的地温变幅减小。普遍认为，麦草覆盖的保墒机理在于覆盖层隔断了土壤毛管与大气间的直接联系，降低了水汽扩散进入大气的传导速率；同时对太阳辐射反射率高[18]，也有效反射覆盖下土壤长波辐射，减缓了地面热量的获取和散失，故地温较低且变化平缓。覆草明显提高果园尤其表土层有机质含量，增加各种养分尤其速效钾含量，这与麦秸腐解养分释放，以及麦秸分解产生的有机酸使土壤中固有的缓效成分转为速效养分有关[7-8,19]。但覆盖前两年0~20 cm土层的碱解氮显著降低，可能与微生物消耗土壤较多氮素分解麦秸有关[8]。其次表土层水溶性镁的含量显著低于不覆盖。覆草抑制盐分表聚与在大田相关研究结果一致[20]；但对土壤容重的影响不大与有关报道不同[7-8]，可能与本试验行间连年未做耕翻有关。覆草后土壤表层细根显著增多同相关文献[12,20-22]，也与土壤表层水分含量高、水温恒稳，养分丰富，有利根系生长和树体养分水分供给[12,21]的观点一致。

覆草降低了近地表气温，这与地面有效辐射减少有关[23]，但未对树体物候期产生明显影响，相应近地面相对湿度提高；同时相关研究认为覆草后树冠主要是中下层叶片周围光照[17-18,24] 改善，二者均有利于光合[15]。张世明[25]认为麦草腐解可释放出大量的CO_2为光合所利用。

覆草改善了地下和地上环境，为叶片质量提高[26]及功能发挥创造了极有利条件[16]，也为产量形成[13,27]奠定了基础。覆盖麦秸后树体营养与生殖生长增加，产量及水分利用效率显著提高同相关报道[7,18,28]。

3.2 细沙覆盖

本试验表明果园覆盖细河沙有较好的保墒及一定的春夏增温作用。连续覆盖后500 cm土层内的含水量基本高于不覆盖，与张义、谢永生[28]用大粒砂石覆盖下的结果不同，可能与所用砂石粒径大小和覆盖的厚度不同导致保墒效果不同有关[29]。覆盖细河沙耗水规律同麦草覆盖，耗水总量略低于不覆盖与同一区域通过茎流测定蒸腾[30]的结论基本一致。覆盖细河沙主要提高4—7月5~25 cm各土壤温度，但增幅小，这可能与沙的比热较小及沙层具有一定的通透性有关，水汽随同吸收的热量在夜间由深层土壤传向地表后，白天部分迁出沙层[3]较容易，因而覆沙下表土层含水量较其它覆盖低，对土温的影响也有限。覆沙下0~60 cm土层有机质及各种养分含量随覆盖年限呈先增后降的总趋势，与多年种植的覆砂大田调查结论相似[32]，全盐量持续明显降低，两年平均低44.27%，也同相关报道[32-33]。覆沙下所形成的土壤水温环境可能促进了有机质的分解和潜在肥力的有效化[32]，覆盖初第一年显著增加了土层中各养分(除有效硼外)；覆盖一年后养分含量显著降低，尤其全氮和碱解氮，这一方面可能与潜在肥力消耗有关，另一方面较厚的沙层在抑制土壤蒸发的同时，也导致随水分迁移的养分在土壤上层含量降低，盐分表聚减弱[33]。覆沙后树体生长量大产量高，养分吸收增多也可能是土壤养分含量明显降低的主要原因之一。覆沙后表土层细根减少可能与有机质等养分减少有关[21]。

覆盖细河沙后近地表气温的升高与地面有效辐射增大[23]有关；近地面温度增高尤以新梢主要生长的5月明显，较不覆盖平均高0.48 ℃。再者沙面的反射率高[23,31]。沙的光热效应在冠层叠加可能成为显著促进新梢生长的主要原因。覆沙提高产量及水分利用效率与相关研究[28,34]结果一致。

3.3　黑膜覆盖

本试验表明果园覆盖黑膜良好的集雨保墒作用与高耗水并存。覆盖黑膜突出的优点在于将干旱期的无效降雨转为有效降雨，既将树盘四周的雨水通过垄面产生的径流汇集于膜侧，并向膜下和行间土壤侧渗和下渗，使降雨得到有效保蓄。本文研究发现连续覆盖 3 年后，幼果期至成熟期 140~500 cm 土层的水分消耗大，未能在秋季降雨后恢复。覆膜后果实整个发育阶段的耗水量始终显著高于不覆盖，与同一区域树干茎流[35]测得的规律一致，也与大田作物的相关试验结果相同[3]。覆膜土壤耗水高可能与其显著的增温作用密切相关。果园覆盖黑膜后对自然光反射率较低[18],而将大部分光能转化为土壤的热能，地温显著升高，5~20 cm 土温提前在 6 月达到最大与相关报道一致[36]。地温升高水分动能增加，加速了叶幕形成前果园行间未覆盖区以蒸发为主的水分耗散[5-6]；而叶幕形成后主要增大了水汽扩散系数[37-38]，促进了土壤—植物—大气连统体(SPAC)中土壤水分进入根系和离开叶片的能力[37]，即树体蒸腾 [12,35,38]加大。土温也可能通过根系代谢间接影响少量水分蒸散[16,38]。其次，从叶幕形成后幼果期至果实成熟耗水多，较深土层水分未能恢复可能还与当年总降雨的 50%集中到了 7 月，持续大到暴雨导致膜上产生大的径流，水分不能及时入渗到土壤中有效蓄积有关。

覆膜后地温升高对根系生长有双重作用，春季和秋季的增温能提早和延长根系活动，增加新根量[12]，但 4 月中旬至 7 月下旬午间 5 cm 土温超过根系生长的上限 30 ℃[12]，易加速根系木栓化[12]，而 5~25 cm 地温日变幅也较不覆盖高，均不利夏季土壤表层根系生长和功能发挥[12]。

覆盖黑膜后对 0~20 cm 土层的理化性状影响最显著。此层有机质总体随年份降低与同一试验区相关研究结果一致[10]，全氮、碱解氮、有效硼及有效锌含量始终显著低于不覆盖(其中有效锌在 0~60 cm 土层)，可能与土壤表层地温偏高，水热气等适宜相关微生物繁衍[10]，加速了有机质的矿化[10]和无机态养分的转化，同时也可能与树体营养生殖生长增加，消耗了更多养分有关。黑膜覆盖降低 0~20 cm 土层盐份表聚与相关报道一致[39]。覆膜后水分垂直蒸发受阻，土壤水分从深层上移至地表后经蒸发凝结在膜表面，再回落、入渗至土壤中[3]，盐分随水分下渗到 20 cm 以下土层；反复的蒸散与淋溶也使表土层的容重降低。

覆盖黑膜对近地表环境影响较小。果园覆膜后新梢生长量及产量增加同有关报道[18,28,34]；但因耗水增多水分利用效率偏低与相关报道不同[28]，可能与试验树龄、座果量以及所用膜的种类等不同有关。

4　结论

1)覆盖麦草后土壤环境及近地面环境改善，地温协调，保墒作用显著，土壤各种养分含量增加；树体地下地上生长增加，产量及水分利用效率显著提高。但应在覆盖初期补充一定量氮肥用于腐解秸秆。覆草是一种充分利用资源，具有良好环境效应的较佳果园覆盖。

2)覆盖细河沙在果园中的保墒作用接近覆盖麦草。覆沙具有提高近地面气温，对树体新梢生长有显著的促进作用；产量和水分利用效率较高。覆沙显著降低土壤全盐量，在盐碱高的地域有推广意义，但各种养分的消耗较大，长期覆盖需特别重视增施有机肥，及时补充各种养分恢复地力，以免影响经济收获。

3)覆盖黑膜明显增高地温，虽春夏干旱期1 m内集雨保墒效果显著，但整个生育期耗水较高，致使部分土壤深层含水量降低，虽产量较高但水分利用效率较低；若秋季降雨不能补偿消耗，多年连续覆膜可能加剧土壤深层干燥，不利果园持续稳产，果园单一黑膜覆盖有待改进和完善。其次覆膜土壤中的部分养分含量降低，表层土壤有机质矿化需引起重视，通过增施有机肥及化肥的投入保持丰产很有必要。

参考文献 References

[1] 潘雅文，樊军，郝明德，等. 黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6):1558-1567

Pan Y W, Fan J, Hao M D, et al. Effects of longterm tillage and mulching methods on properties of surface soil and maize yield in tableland region of the Loess Plateau, Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(6):1558-1567

[2] 汪景宽,刘顺国,李双异. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤无机氮和氮素矿化率的影响[J]. 水土保持学

报,2006,20(6):107-110

Wang J K, Liu S G, Li S Y. Effect of long-term plastic film mulching and fertilization on inorganic N distribution and organic N mineralization in brown earth. Journal of soil and water conservation, 2006, 20(6):107-110

[3] 王红丽，张绪成，宋尚有，等. 西北黄土高原旱地全膜双垄沟播种植对玉米季节性耗水和产量的调节机制[J]. 中国农业科学,2013,46(5):917-926

Wang H L, Zhang X C, Song S Y, et al. Regulation of whole Field Surface Plastic Mulching and Double Ridge-Furrow Planting on Seasonal Soil Water Loss and Maize Yield in Rain-Fed Area of Northwest Loess Plateau. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(05):917-926

[4] 侯连涛，江晓东，韩宾，等. 不同覆盖处理对冬小麦气体交换参数及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(9):58-63

Hou L T, Jiang X D, Han B, et al. Effects of different mulching treatments on the gas exchange parameters and water use efficiency of winter wheat. Transactions of the CSAE, 2006, 22(09):58-63

[5] 王敏，王海霞，韩清芳，等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1249-1258

Wang M, Wang H X, Han Q F, et al. Effects of different mulching materials on Soil water, temperature, and corn growth. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(7): 1249-1258

[6] 高茂盛，廖允成，李侠，等. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2080-2087

Gao M S, Liao Y C, Li X, et al. Effects of different mulching patterns on soil water—holding capacity of non-irrigated apple orchard in the Weibei plateau. Scientia Agricultura Sinic, 2010, 43(10): 2080-2087

[7] 刘建新. 覆草对果园土壤肥力及苹果产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 102-105

Liu J X. The effects of grass covering on soil fertility in orchard and output and quality of apple. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(1): 102-105

[8] 赵鹏，王硕，叶素银，等. 梨园秸秆还田腐解特征及对土壤性状的影响研究[J]. 土壤,2016,48(2) :270-277

Zhao P, Wang S, Ye S Y, et al. Effects of straw decomposition characteristics on soil properties of pear orchard. Soils, 2016, 48(2) :270-277

[9] 郭学军，韩张雄，马锋旺. 不同覆盖方式对苹果园土壤状况及果树生长与果实的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(9): 112-118

Guo X J, Han Z X, Ma F W. Effect of different mulching treatments on changes of soil properties, growth of fruit tree, and yield and quality of fruit. Journal of Northwest A&F University(Nat.Sci.Ed).,2013,41(09):112-118

[10] 张林森，刘富庭，张永旺，等. 不同覆盖方式对黄土高原地区苹果园土壤有机碳组分及微生物的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3180-3190

Zhang L S, Liu F T, Zhang Y W, et al. Effects of different mulching on soil organic carbon fractions and soil microbial community of apple orchard in loess plateau. Scientia Agricultura Sinica,2013,46(15): 3180-3190

[11] 王锐，刘文兆，李志. 黄土塬区10m深剖面土壤物理性质研究[J]. 土壤学报,2008,45(3):550-554

Wang R, Liu W Z, Li Z. Physical properties of soils along a 10m deep soil profile in loess tableland. ACTA Pedologica Sinica, 2008, 45(03):550-554

[12] 杨洪强，束怀瑞主编. 苹果根系研究[M]. 北京：科学出版社, 2007: 21-145

Yang H Q, Shu H R. Studies on Apple Roots. Beijing: Science Press, 2007

[13] 范晶，赵惠勋，李敏. 比叶重及其与光合能力的关系[J]. 东北林业大学学报,2003,31(5):37-39

Fan J, Zhao H X, Li M. The Specific Leaf Weight and Its Relationship with Photosynthetic Capacity. Journal of northeast forestry university,2003,31(05):37-39

[14] 王进鑫，张晓鹏，高保山，贺秀贤. 渭北旱塬红富士苹果需水量与限水灌溉效应研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 69-72, 80

Wang J X, Zhang X P, Gao B S, et al. Study on water requirement and limited irrigation effects of dwarfing red fuji apple tree on Weibei of Loss Plateau. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(1): 69-72

[15] 孙文泰，赵明新，尹晓宁，等. 陇东旱地果园地表覆盖方式对苹果光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013, 31 (3) :19-25

Sun W T, Zhao M X, Yin X N. Effects of different mulch modes on apple photosynthesis in dry-land orchards of east Gansu Province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(3):19-25

[16] 吕忠恕. 果树生理[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1982:31-229

Lu Z S.Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1982

[17] 樊亮. 表层土壤管理措施对苹果产量与树体贮藏营养的影响[D] . 兰州：甘肃农业大学, 2012

Fan L.The influence of surface soil management measures on nutrient backflux in “Red Fuji” apple tree and yield in east Gansu

Province. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012

[18] 刘克长，任中兴，李申安，等. 不同覆盖措施下龙廷杏梅园地小气候效应研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 145-148
Liu K C, Ren Z X, Li S A, et al. Area climate effect on Long-ting P. simonii Carr with the Different Mulching Measurements. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(5): 145-148

[19] 高茂盛，温晓霞，黄灵丹，等. 耕作和秸秆覆盖对苹果园土壤水分及养分的影响[J]. 自然资源学报, 2010, 25(4): 547-555
Gao M S, Wen X X, Huang L D, et al. The effect of tillage and mulching on apple orchard soil moisture and soil fertility. Journal of Natural Resource, 2010, 25(4): 547-555

[20] 张金珠,王振华,虎胆 吐马尔白. 秸秆覆盖对滴灌棉花土壤水盐运移及根系分布的影响[J]. 中国生态农业学报,2013, 21 (12):1467-1476
Zhang J Z, Wang Z H, Hudan TUMAREBI. Influence of straw mulching on soil water/salt movement and cotton root distribution under drip irrigation[J].*Chinese Journal of Eco-Agriculture*,2013,21(12) :1467-1476

[21] 姜远茂，张宏彦，张福锁. 北方落叶果树养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京：中国农业大学出版社, 2007: 57-118
Jiang Y M, Zhang H Y, Zhang F S. Theory and practice of comprehensive management of fertility resources of deciduous fruit trees. Beijing: China Agricultural University Press, 2007

[22] 杨萍，邱慧珍，海龙，等. 表层土壤调控措施对苹果根系形态及活力的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 4(2): 89-95
Yang P, Qiu H Z, Hai L, et al. Effects of surface soil management measures on apple root morphology and vitality. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2014, 4(2): 89-95

[23] 易明晖. 气象学与农业气象学[M]. 北京：农业出版社, 1990: 32-43
Yi M-H. Meteorology and Agricultural Meteorology. Beijing: Agriculture Press, 1990

[24] 曲泽洲，冯学文. 苹果与气候[M].北京：中国农业出版社, 1989: 120-129
Qu Z Z, Feng X W. Apple and Meteorology. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1989

[25] 张世明. 秸秆反应堆技术[M], 北京：中国农业出版社, 2012
Zhang S M. Straw reactor technology], Beijing: Chinese Agriculture Press, 2012

[26] 吕三三，杜国栋，刘志琨，等. 覆草对苹果叶片显微结构及光系统功能的影响[J]. 中国农业科学, 2015,48(1): 130-139
Lu S S, Du G D, Liu Z K, et al. Effects of orchard mulching grass on the microstructure and function of photosystem in apple leaves. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(1): 130-139

[27] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002: 163-170
Xu D Q. Photosynthetic efficiency. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2002

[28] 张义,谢永生. 不同覆盖措施下苹果园土壤水文差异[J]. 草业学报,2011, 20 (2):85-92
Zhang Y, Xie Y S. Effects of different patterns of Surface Mulching on soil Hydrology in an apple orchard. *ACTA* Prataculturae Sinica, 2011, 20(02):85-92

[29] 关红杰，冯浩. 砂石覆盖厚度和粒径对土壤蒸发的影响[J]. 灌溉排水学报,2009,28(4):41-44
Guan H J, Feng H. Effects of the Thickness and Grain Size of Gravel Mulch on Soil Moisture Evaporation. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(04):41-44

[30] 张坤,尹小宁,刘小勇，等. 陇东旱地果园覆沙对苹果树蒸腾耗水及果实品质的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(11):2755-2762
Zhang K, Yin X N, Liu X Y, et al. Effects of sand-covering on apple tree transpiration and fruit quality in dry land orchards of Longdong, Gansu[J].Chinese Journal of Applied Ecology, 2010,21(11):2755-2762

[31] 肖相国，王忠厚，白加光，等. 地表反照对天基测量相机的影响[J]. 光子学报,2009,38(2):375-381
Xiao X G, Wang Z H, Bai J G, et al. Influence of Earth Radiation on Photoelectric Detection System Based on Space. Acta Photonica Sinica,2009,38(02):375-381

[32] 许强，吴宏亮，康建宏，强力. 旱区砂田肥力演变特征研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):37~41
Xu Q, Wu H L, Kang J H, et al. Study on evolution characteristics of sandy-field in arid region. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(01):37~41

[33] 宋日权，褚贵新，张瑞喜，白玲，杨劲松. 覆砂对土壤入渗、蒸发和盐分迁移的影响[J]. 土壤学报,2012,49(02):282-288
Song R Q, Chu G X, Zhang R X, et a. Effects of sand mulching on soil infiltration, evaporation, and salt distribution[J].ACTA Pedologica Sinica,2012,49(02):282-288

[34] 张义，谢永生，郝明德，等. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2):279- 286
Zhang Y, Xie Y S, Hao MD, et al. Effects of different patterns surface mulching on soil properties and fruit trees growth and yield in an apple orchard. Chinese Journal of Applied Ecology, Feb, 2010, 21(2): 279- 286

[35] 张坤，王发林，刘小勇，等. 旱地果园起垄覆膜集雨措施对树体水分利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 68-71

Zhang K, Wang F L, Liu X Y, et al. Effect of riding the land and covering plastic film for rainfall collection on water use of apple trees in dry land orchard. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(3): 68-71
[36] 刘小勇，李红旭，李建明，等. 不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响[J]. 生态学报,2014,34(3):746-754
Liu X Y, Li H X, Li J M, et al. The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area, Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3):746-754
[37] 杨文治，邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社 2000,197~249
Yang W Z, Shao M A. Study on soil moisture in Loess Plateau. Beijing: Science Press, 2000
[38] 康绍忠，张建华. 不同土壤水分与温度条件下土根系统中水分传导的变化及其相对重要性[J]. 农业工程学报,1997,13(2):76~81
Kang S Z, Zhang J H. Hydraulic conductivities in soil-root system and relative importance at different soil water potential and temperature. *Transactions of CSAE*, 1997, 02:76~81
[39] 杜社妮，白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(5):56-59
Du S N , Bai G Q. Studies on effects of plastic film mulching on soil environment of maize field. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(05):56-59